
СЕКЦИЯ № 4

ЭЛЕКТРОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

ПОВЫШЕНИЕ ПОДАВЛЕНИЯ СИНФАЗНОГО СИГНАЛА С ПОМОЩЬЮ ТРЕХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Буй Д. Б.

Научный руководитель: Бананов П. Ф., доцент, к.т.н.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: bdbtpu@gmail.com

INCREASE COMMON MODE SIGNAL REJECTION USING THREE INSTRUMENTATION AMPLIFIERS

Bien D. B.

Scientific Supervisor: Associate Prof., PhD Baranov P. F.
Tomsk Polytechnic University
Russia, Tomsk, Lenin ave., 30, 634050
E-mail: bdbtpu@gmail.com

В современных синхронных дифференциальных усилителях для сравнения двух сигналов и выделения дифференциального сигнала широко применяется инструментальный усилитель. Инструментальный усилитель (ИУ) – это прецизионный усилительный блок с дифференциальным входом и замкнутой обратной связью [1], который обеспечивает усиление разности между напряжениями двух входных сигналов, ослабляя их синфазные сигналы. Наибольшее распространение получила схема ИУ состоящая из трех операционных усилителей. В работе представлено теоретическое исследование схемы выделения дифференциального сигнала, основанного на трех инструментальных усилителях, позволяющей увеличивать подавления синфазного сигнала.

In modern lock-in amplifiers with a difference input, the instrumentation amplifier is widely used to compare two signals and measure differential signal. Instrumentation amplifier (INA) is a precision amplifying unit with a differential input and closed-loop feedback [1], which provides amplification of the difference between the voltages of the two input signals, weakening their common mode signals. The scheme of INA, consisting of three operational amplifiers was the most advanced. This work presents a theoretical study of the scheme for measuring a differential signal using three instrumentation amplifiers, which allow increasing common mode signal rejection.

Схема соединения инструментальных усилителей с высоким коэффициентом ослабления синфазного сигнала представлена на рис. 1. Она характеризует высоким частотным диапазоном, при котором инструментальный усилитель имеет высокий коэффициент ослабления синфазного сигнала.

Схема включает в себя 3 инструментальных усилителя, два из которых ИУ1, ИУ2 являются корреляционными (взаимосвязанными) и противофазы подключены. Их выходы подключены к ИУ3, который подавляет синфазный и усиливает дифференциальный составляющие. Когда ИУ1, ИУ2 взаимосвязанными, их погрешности по подавлению синфазных составляющих одинаковые, вследствие этого эти погрешности подавляются третьим ИУ3.

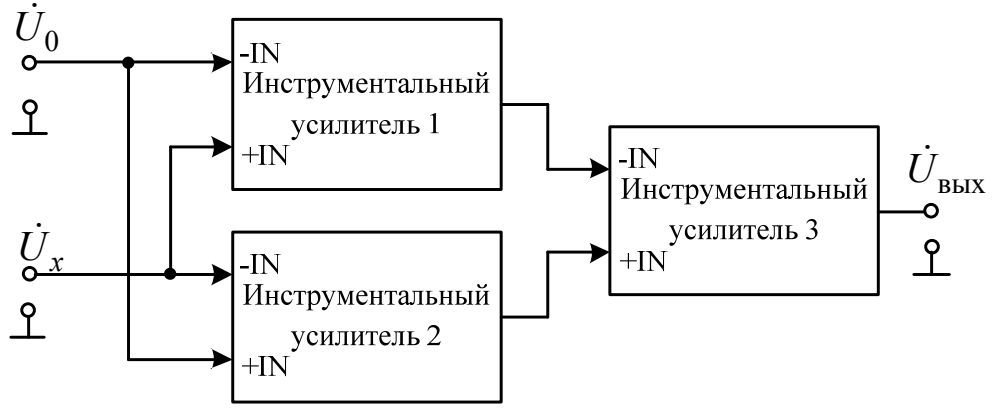


Рис. 1. Соединение трех инструментальных усилителей

Напряжение на выходе инструментального усилителя в зависимости от значения коэффициента ослабления синфазного сигнала определяется по формуле [1, 2]:

$$\dot{U}_{\text{вых}} = \dot{K}_d \left(\dot{U}_x - \dot{U}_0 + \frac{\dot{U}_x + \dot{U}_0}{2\dot{K}_{\text{OCC}}} \right) \quad (1)$$

Согласно формуле (1), напряжение на выходе ИУ1 и ИУ2 при разных коэффициентах усиления дифференциального сигнала определяется как:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{\text{вых1}} &= \dot{K}_{d1} \left(\dot{U}_x - \dot{U}_0 + \frac{\dot{U}_x + \dot{U}_0}{2\dot{K}_{\text{OCC1}}} \right); \\ \dot{U}_{\text{вых2}} &= \dot{K}_{d2} \left(\dot{U}_0 - \dot{U}_x + \frac{\dot{U}_x + \dot{U}_0}{2\dot{K}_{\text{OCC2}}} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

Напряжение на выходе ИУ3 при коэффициенте усиления дифференциального сигнала K_{d3} рассчитывается по формуле:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{\text{вых3}} &= \dot{K}_{d3} \left(\dot{U}_{\text{вых1}} - \dot{U}_{\text{вых2}} + \frac{\dot{U}_{\text{вых1}} + \dot{U}_{\text{вых2}}}{2\dot{K}_{\text{OCC3}}} \right) = \dot{K}_{d3} \left[(\dot{K}_{d1} + \dot{K}_{d2}) \dot{U}_d + \right. \\ &\left. + \left(\frac{\dot{K}_{d1}}{\dot{K}_{\text{OCC1}}} - \frac{\dot{K}_{d2}}{\dot{K}_{\text{OCC2}}} \right) \dot{U}_c + \frac{1}{2\dot{K}_{\text{OCC3}}} \left[(\dot{K}_{d1} - \dot{K}_{d2}) \dot{U}_d + \left(\frac{\dot{K}_{d1}}{\dot{K}_{\text{OCC1}}} + \frac{\dot{K}_{d2}}{\dot{K}_{\text{OCC2}}} \right) \dot{U}_c \right] \right] \end{aligned} \quad (3)$$

Примем, что $\dot{K}_{d1} = \dot{K}_{d2} = \dot{K}_d$, соответственно $\dot{K}_{\text{OCC1}} = \dot{K}_{\text{OCC2}} = \dot{K}_{\text{OCC}}$, тогда выходное напряжение ИУ определяется по формуле:

$$\dot{U}_{\text{вых3}} = \dot{K}_{d3} \dot{K}_d \left(2\dot{U}_d + \frac{\dot{U}_c}{\dot{K}_{\text{OCC3}} \dot{K}_{\text{OCC}}} \right) \quad (4)$$

Из формулы (4), видно что, дифференциальный составляющий сигнала увеличивается на 2 раза, синфазный составляющий уменьшается на K_{OCC3} раз. Тогда при сравнении двух одинаковых по амплитуде, выходное остаточное напряжение ИУ3, вызванное синфазным сигналом составляет:

$$\dot{U}_{\text{вых3}} = \frac{\dot{K}_{d3} \dot{K}_d \dot{U}_0}{\dot{K}_{\text{OCC}} \dot{K}_{\text{OCC3}}} \quad (5)$$

На основе анализа различных параметров инструментальных усилителей в качестве примера была выбрана микросхема PGA207 фирмы Texas Instruments [4], коэффициент ослабления синфазного сигнала которой составляет 92дБ и 100 дБ (при $K_d = 1$ и 10 соответственно) на низких частотах и уменьшается с ростом частоты.

Остаточные выходные напряжения теоретически определенные при сравнении двух одинаковых по амплитуде и синфазных напряжений равных 10В среднеквадратического значения для схемы вычитания с одним ($K_d = 1$) и тремя ИУ ($K_{d1} = K_{d2} = 10, K_{d3} = 1$) внесены в таблицу 1.

Таблица 1. Напряжение на выходе инструментального усилителя PGA207

Частота, Гц	Напряжение, В	
	1 ИУ	3 ИУ
100	$1 \cdot 10^{-4}$	$2,502 \cdot 10^{-9}$
1k	$1,04 \cdot 10^{-4}$	$2,704 \cdot 10^{-9}$
10k	$3,027 \cdot 10^{-4}$	$2,291 \cdot 10^{-8}$
20k	$5,801 \cdot 10^{-4}$	$8,413 \cdot 10^{-8}$
30k	$8,630 \cdot 10^{-4}$	$1,862 \cdot 10^{-7}$
40k	$1,145 \cdot 10^{-3}$	$3,290 \cdot 10^{-7}$
50k	$1,432 \cdot 10^{-3}$	$5,127 \cdot 10^{-7}$
60k	$1,717 \cdot 10^{-3}$	$7,372 \cdot 10^{-7}$
70k	$2,002 \cdot 10^{-3}$	$1,003 \cdot 10^{-6}$
80k	$2,288 \cdot 10^{-3}$	$1,309 \cdot 10^{-6}$
90k	$2,573 \cdot 10^{-3}$	$1,656 \cdot 10^{-6}$
100k	$2,859 \cdot 10^{-3}$	$2,043 \cdot 10^{-6}$

С таблицы следует, что при использовании одного и трех ИУ соответственно, выходное остаточное напряжение составляет около 100мкВ и 2,7нВ на частоте 1 кГц и будет увеличиваться с ростом частоты сравниваемых сигналов. Зависимость напряжения на выходе ИУ PGA207 от частоты представлена на рис. 2.

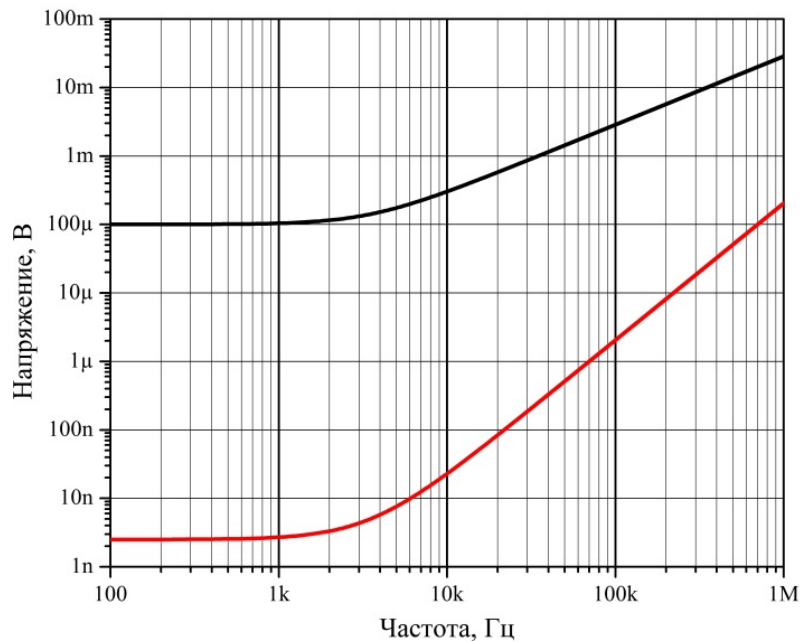


Рис. 2. Зависимость напряжения на выходе ИУ PGA207 от частоты:

черная – для 1 ИУ, красная – для 3 ИУ

Из анализа полученных значений (рисунок 2) видно, что при реализации схемы вычитания на трех инструментальных усилителях можно добиться разрешающей способности до 10нВ в диапазоне до 1кГц.

Необходимо отметить, что для обеспечения эффекта подавления синфазного сигнала предполагаемой схемой, комплексные коэффициенты усиления дифференциального сигнала и ОСС инструментального усилителя должны соответствовать следующим условиям (на основе выражения (3)):

$$\begin{aligned}\dot{K}_{д1} &= \dot{K}_{д2} = \dot{K}_{д} \\ \dot{K}_{ОСС1} &= \dot{K}_{ОСС2} = \dot{K}_{ОСС}\end{aligned}\tag{6}$$

Условие эффективности схемы (выражение 6) является необходимым и достаточным. Оно также показывает недостаток предполагаемой схемы, который заключается в затруднении поиска идентичных инструментальных усилителей на практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. П.Ф. Баранов, В.Н. Борилов, Синхронные усилители для метрологического обеспечения измерительных преобразователей: монография. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 166 с.
2. Баранов П.Ф., Борилов В.Н. Синхронный усилитель с дифференциальным входом для метрологического обеспечения масштабных измерительных преобразователей // Приборы. – 2013. – № 4. – С. 8–11.
3. Callegaro L and Serazio D 2000 Inductive voltage dividers comparison with a vector voltmeter CPEM: Proc. Precision Electromagnetic Measurements Digest (Sydney, NSW, Australia, 14-19 May). DOI: 10.1109/CPEM.2000.850956
4. PGA207 High-Speed programmable gain instrumentation amplifier. Data Sheet. – Texas Instruments, Inc., 2017. – 15 p.